

УДК 669.18

**А. А. Журавлев, Е. А. Каташевич**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ДСП С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ**

### **Аннотация**

*В работе рассматриваются вопросы утилизации дымовых газов в ДСП как источника загрязнения окружающей среды вредными выбросами. Дожигание CO до CO<sub>2</sub> позволяет экономить тепловую и электрическую энергию при выплавке металла в дуговых электрических печах на металлургических и машиностроительных предприятиях.*

**Ключевые слова:** *окружающая среда, загрязнение, шлак, металл, дожигание, дуговые сталеплавильные печи, энергия, тепло, металлургические предприятия.*

### **Abstract**

*The paper deals with the utilization of flue gases in chipboard as a source of environmental pollution by harmful emissions. The afterburning of CO to CO<sub>2</sub> allows to save heat and electric energy for smelting metal in an electric arc electric furnaces at metallurgical and machine-building enterprises.*

**Key words:** *environmental pollution, metallurgical enterprises, slag, metal, environment, pollution, afterburning, arc steel furnaces, energy, heat.*

Вопрос энергоэффективности и энергосбережения для России является чрезвычайно актуальным. Энергоемкость российского ВВП на данный момент в несколько раз превышает среднемировое значение. Это можно объяснить жестким климатом РФ, однако энергоемкость ВВП стран, расположенных в схожих географических и климатических условиях, таких как Финляндия, Канада, и др. оказывается в среднем в 2 раза ниже общероссийской рис. 1.

В Российской Федерации имеется значительный потенциал энергосбережения, которой по оценкам МЭА составляет 968,7 млн. т у.т. [\*\*] (см. рис. 2).

Как видно из рис. 2, важной задачей является определение потенциала энергосбережения, которое зависит от конкретных энергосберегающих мероприятий.

Энергосбережение базируется на законах теплопроводности, конвективного, лучистого и сложного теплообмена, а также интенсификации теплопередачи в теплообменных аппаратах, теплообмена излучением между телами и в газах. Конкурентноспособность металлургической продукции тесно связана с энергоемкостью этой промышленности, а металлургия является одной из самых энергоемких отраслей. В табл. 1 приведены данные, а именно расходы ТЭР (энергоемкость) на единицу продукции для ряда металлургических переделов на заводах Свердловской области в сравнении со среднемировыми

показателями (в кг у.т./ т продукции) [данные НИИ «ВНИИЭнергоцветмет» (г. Екатеринбург)].

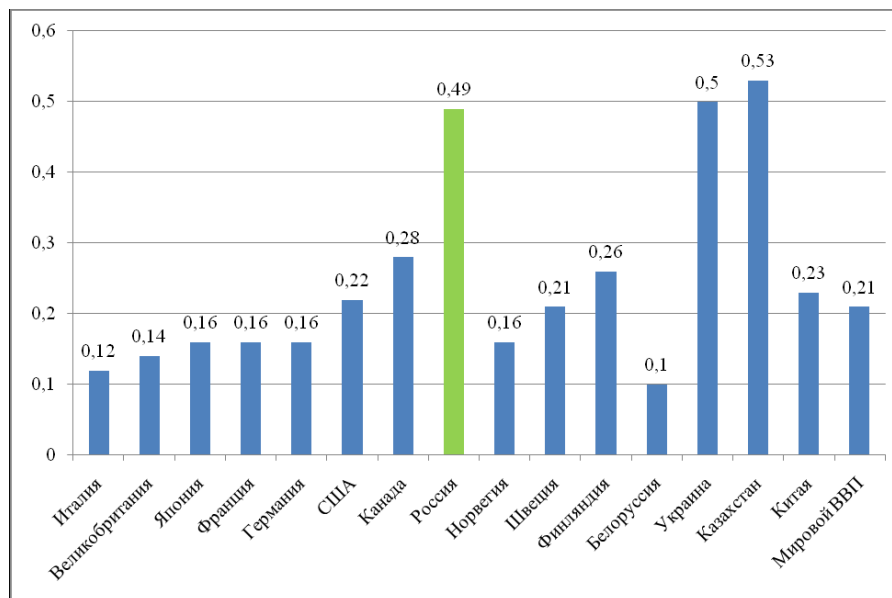


Рис. 1. Энергоемкость ВВП в различных странах и мире  
(в килограммах нефтяного эквивалента на доллар США) [\*\*]

\*\* По данным Международного Энергетического Агентства (МЭА). Нефтяной эквивалент (обычно обозначаемый аббревиатурой ТОЕ (англ. *Tonne of oil equivalent*) – принятая Международным энергетическим агентством (IEA) единица, одна тонна нефтяного эквивалента равняется 41,868 ГДж или 11,63 МВт·ч

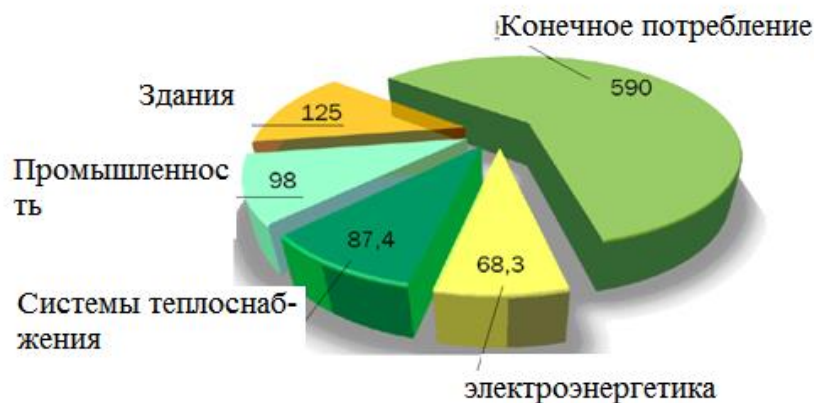


Рис. 2. Потенциал энергосбережения в Российской Федерации, млн. т у.т.

Таблица 1

Энергоемкость продукции			
Отрасль	Мировой уровень, кг у.т./ т	Свердл. обл., кг у.т./ т	Соотношение с мировым уровнем, %
Медная плавка	500	1400	280 (Россия)
Производство стали	850 745 (США)	1100	+30 (Россия) -47 (США)

Основная тенденция последних лет в сталеплавильном производстве – наращивание производства стали в дуговых сталеплавильных печах, причем доля стали, выплавляемой в ДСП, составляет сегодня более 40 %. Фактором, характеризующим повышение конкурентоспособности электростали, является реализация и постоянное совершенствование идеи высокопроизводительной ДСП. Чтобы минимизировать продолжительность плавки в ДСП (сокращая расход э/э) необходимо снижать общие затраты тепловой энергии на плавку за счет более эффективного использования энергии не только мощной электрической дуги, но и других статей энергетического баланса. Таких как, увеличение КПД электрической дуги; минимизация продолжительности нахождения жидкой стали в печи, применение «болота», вспенивания шлака, пневматического перемешивания ванны, автоматизации плавки; эффективного использования химической энергии монооксида углерода печной атмосферы за счет ввода дополнительного количества кислорода в рабочее пространство ДСП с помощью специальных устройств различной конструкции. Если рассмотреть энергобаланс плавки, то оказывается, что приходная часть баланса современной электропечи по структуре в основных чертах соответствует классической. На долю высокотемпературных источников тепла – электрической дуги – в современных дуговых печах, работающих с одной подвалкой, приходится ~ 60-61 % приходящей энергии, доля химической энергии, составляет приблизительно 30-31 %, на долю энергии газокислородных горелок – 5-7 %, физическое тепло шихты и газов ~2,9-3,0 %.

Характеристика энергетического режима плавки в современной ДСП, с одной подвалкой, делится по уровню вводимой мощности на три этапа [2]. Первый – поступление энергии от дуг, второй – применение дополнительной энергии топливо-кислородных горелок для ускорения плавления лома, которые включают после завалки. Третий этап – приход тепла химической энергии реакций. Структура тепла химической энергии включает в себя: тепло от окисления углерода в расплаве ~ 6,9-7,0 %, от дожигания СО до СО<sub>2</sub> – 26-28 %, от сжигания дисперсного углерода в печи ~ 32 %, т.е. суммарно доля углерода в структуре химической энергии составляет ~ 65-67 %. остальное (до 100 %) поступает от окисления компонентов шихты – 25-26 % и тепла окисления электродов и шлакообразования ~ 9-10 %.

Расходные статьи теплового баланса дуговых печей (физическое тепло металла и шлака, тепло отходящих дымовых газов, потери тепла футеровкой и др.) показывают, что, несомненно, есть резервы как для улучшения теплового баланса, так и решения вопросов по очистке технологических отходящих газов. Одной из мало изученных расходных статей, позволяющей сократить продолжительности плавки, при этом снижая долю СО в отходящих дымовых газах, является утилизация химического тепла (энергии), например, дожигание СО до СО<sub>2</sub>. Для оценки эффективного использования химической энергии печной атмосферы за счет прихода СО, образующегося за время плавки в ДСП, и, соответственно, прихода химического тепла, поступающего в ванну от

дожигания СО до СО<sub>2</sub>, нами предпринята попытка расчетом, оценить приход этого тепла в печь. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов тепла, полученного от дожигания СО до СО<sub>2</sub>  
и усвоения его ванной

№ п.п.	Исходное содержание углерода в хол. шихте %	Кол-во СО в отходящих газах в период плавнения, кг/м <sup>3</sup>	Сод-е СО в отходящих газах %, в период плавнения	Общее тепло от дожигания СО до СО <sub>2</sub> , кДж / кВт-час	Кол-во дожи-го тепла СО над ванной [3], с учетом $m$ от $m_{\min}$ до $m_{\max}$ / среднее кВт-час	Тепло [3] дожигания использов-е ванной $Z^* = \frac{m_{\min} - m_{\max}}{Z_{\text{средн}}}$ , кВт-час	В % от дожи-го тепла колонка 6:5 (сред. значения)
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,73	412,20 / 330,00	60,90	4170686 / 1159	232- 575 / 406	203-325 / 264	65,0
3	0,63	258,20 / 206,60	54,40	2612687 / 726	146-362 / 254	127-203 / 165	65,0
4	0,58	181,20 / 145,00	47,00	1833536 / 509	102-255 / 178	89-143 / 116	65,0
5	0,53	104,30 / 83,50	36,10	1055396 / 293	59-147 / 103	51-82 / 67	65,0
6	0,48	27,40 / 23,00	14,30	177257 / 77	15-39 / 27	14-22 / 18	67,0

\*-  $Z$  – коэффициент дожигаемого тепла в ванне составляет  $Z = 0,5-0,8$ ; среднее –  $Z_{\text{ср}} = 0,65$ , – по данным Бигеева А.М. [1]; доля СО, окисляемая (дожигаемая) над ванной кислородом дутья, равна  $m = 0,2-0,5$  ( $m_{\text{ср}} = 0,35$ ) [1]

Количество тепла, поглощаемого ванной от дожигания СО до СО<sub>2</sub>, (по нашим данным) не превышает 23 % (43,7 кВт\*ч) от общего тепла дожигания, что естественно не значительная величина, мало оказывающая существенное влияние на тепловую работу печи. Однако ряд технологических мероприятий позволяют её увеличить. Количество кислорода необходимое для дожигания СО (по стехиометрии), соответственно, составляет (позиции №1-6 соответственно – 165,0; 134,0; 103,0; 72,5; 48,0 и 11,5 м<sup>3</sup>). Для полноты дожигания СО эти значения нужно увеличить в 1,1-1,2 раза, т.е. при интенсивности введения кислорода в печь 30-50 м<sup>3</sup>/т время полного дожигания СО до СО<sub>2</sub> не превышает ~ 5-7 минут. Для увеличения доли химического тепла, поглощаемого ванной, необходимо использовать мероприятия, позволяющие увеличивать её теплопоглощение (что позволит снизить расхода э/э). Например, в работах [2-4] установлено, что на радиационные характеристики ванны (отражение и поглощение тепла) оказывают: степень черноты шлака (интегральная и спектральная), структурно-чувствительные характеристики шлака (химический состав в объеме и поверхности) его тепло- и температуропроводность, вязкость, электропроводность и др. Использование энергии акустического поля при работе печей и агрегатов различной конструкции [промышленные испытания этого

процесса, проведенные кафедрой ТИМ, рук. доц. Матюхин В.И.,] подтвердили возможность снижения вредных выбросов (СО, NO<sub>x</sub>, пыль). Формирование поля звуковых колебаний, заданных параметров, в движущемся запыленном потоке печей, позволили установить устойчивую тенденцию снижения пылевыноса за пределы рабочего пространства на величину до 40 %. Это открывает возможности не только для улучшения тепловой работы печей, а также экологической обстановки в цехах, за счет существенного снижения пылевыноса, как из рабочего пространства печи, так и из пылеосадительных устройств.

### **Список использованных источников**

1. Бигеев А.М. Metallургия стали: учебное пособие / А.М. Бигеев. – М.: Metallургия, 1977. – 440 с.
2. Каиров Э.А., Мaстрюков Б.С., Кривандин В.А. Влияние химического состава расплавленного мартеновского шлака на его радиационные характеристики / Э.А. Каиров, Б.С. Мaстрюков, В.А. Кривандин // Известия вузов. Черная metallургия. 1970. №7. С. 155-158.
3. Евсеев Г.П., Филиппов А.Ф. Влияние добавок на электропроводность фтористых и известково-глиноземистых шлаков / Г.П. Евсеев, А.Ф. Филиппов // В сб. «Физико-химические основы производства стали». – М., 1968. С. 76-82.
4. Журавлев А.А. Измерение теплофизических свойств шлаковых расплавов при высоких температурах / А.А. Журавлев // Тр. XIII Всероссийской конференции «Строение и свойства metallических и шлаковых расплавов». – Екатеринбург. 2011. Т. 3. С. 85-87, 88-91.

УДК 504.054

**С. Я. Журавлев, В. И. Матюхин, А. В. Матюхина, А. В. Хандошка,  
А. Я. Журавлева**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

## **ПОДГОТОВКА И УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ МИНЕРАЛОВАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **Аннотация**

*Изучена структура твердых отходов минераловатного производства, дана характеристика их физических свойств. По результатам изучения особенностей работы дробилок различной конструкции выбрана в качестве агрегата для гомогенизации отходов шаровая мельница. Приведен материальный и тепловой балансы минераловатной вагранки с применением формованных отходов.*